

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Топливный цикл термоядерного реактора**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.
Лукашевский

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.
Лукашевский

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках

ИД-5 Знаком с технологическими процессами, протекающими в плазменных установках различных типов

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Устная форма

1. Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла (Проверочная работа)
2. Потоки частиц в вакуумной камере (Проверочная работа)
3. Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем (Проверочная работа)
4. Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы (Проверочная работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем (Проверочная работа)
- КМ-2 Потоки частиц в вакуумной камере (Проверочная работа)
- КМ-3 Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла (Проверочная работа)
- КМ-4 Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы (Проверочная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16

Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора				
Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора	+			
Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора				
Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора		+		
Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора				
Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора			+	
Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них				
Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них				+
Вес КМ:	16	16	28	40

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-2	ИД-5 _{ПК-2} Знаком с технологическими процессами, протекающими в плазменных установках различных типов	<p>Знать:</p> <p>основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора</p> <p>процессы в вакуумной камере термоядерного реактора</p> <p>Уметь:</p> <p>планировать и проводить численные и экспериментальные исследования потоков изотопов водорода в технологических системах</p> <p>определять архитектуру систем топливного цикла термоядерного реактора и требования к ним</p>	<p>КМ-1 Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем (Проверочная работа)</p> <p>КМ-2 Потоки частиц в вакуумной камере (Проверочная работа)</p> <p>КМ-3 Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла (Проверочная работа)</p> <p>КМ-4 Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы (Проверочная работа)</p>

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Проверочная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 16

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам задаются вопросы. После 10 минутной подготовки студенты отвечают на вопросы преподавателю.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора	1.Какие газы используются в топливном цикле? 2.Какие системы топливного цикла можно отнести к обеспечивающим безопасность эксплуатации и почему? 3.По какому принципу организован топливный цикл ИТЭР? 4.Что такое принцип ALARA и что он подразумевает? 5.Что такое «третиевый цикл»? А «третиевый завод»?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Поток частиц в вакуумной камере

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Проверочная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 16

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам задаются вопросы. После 10 минутной подготовки студенты отвечают на вопросы преподавателю.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: процессы в вакуумной камере термоядерного реактора	<ol style="list-style-type: none">1.Какие факторы определяют эффективный заряд частиц в плазме?2.Что такое «вспомогательные газы» и зачем они нужны в плазменных разрядах?3.Чем определяются высокая скорость пелет и их размер?4.Чем определяется в длительном разряде баланс частиц в плазме?5.Какие процессы протекают между плазмой и внутрикамерными компонентами?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Проверочная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 28

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам задаются вопросы. После 10 минутной подготовки студенты отвечают на вопросы преподавателю.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: определять архитектуру систем топливного цикла термоядерного реактора и требования к ним	1.Какое количество трития может быть использовано в разрядах ИТЭР/ДЕМО за год? 2.Чем определяется содержание трития в системах топливного цикла? 3.Какие аналитические методы моделирования работы топливного цикла используются и в чем их особенности? недостатки? достоинства? 4.Какова методика расчета баланса количества частиц в основной и диверторной плазме? 5.Как оцениваются потери частиц изотопов водорода в топливном цикле термоядерного реактора?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Проверочная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студентам задаются вопросы. После 10 минутной подготовки студенты отвечают на вопросы преподавателю.

Краткое содержание задания:

Ответьте на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: планировать и проводить численные и	1.Какие задачи решаются системой

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
экспериментальные исследования потоков изотопов водорода в технологических системах	<p>нейтральной инжекции и как она работает?</p> <p>2.Какие методы применяются для ввода топлива в плазменный разряд?</p> <p>3.Какие факторы влияют на производительность системы разделения изотопов водорода?</p> <p>4.Какие меры безопасности предпринимаются при обращении с топливом?</p> <p>5.Что определяет режим работы систем (отдельных) топливного цикла?</p>

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

Н И У «М Э И»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1	«Утверждаю» Зав. кафедрой ___ января 2022 г.
	Кафедра <i>Общей физики и ядерного синтеза</i>	
	Дисциплина <i>Топливный цикл термоядерного реактора</i>	
Институт <i>ИТАЭ</i>		
1. Какие системы топливного цикла можно отнести к обеспечивающим безопасность эксплуатации и почему? 2. Методы подпитки плазмы частицами топлива. 3. Для реактора с площадью первой стенки 300 м ² определите наработку трития вblankете площадью 100 м ² с показателем TBRL=2. Мощность реакции синтеза 100 МВт.		

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-5_{ПК-2} Знаком с технологическими процессами, протекающими в плазменных установках различных типов

Вопросы, задания

Н И У «М Э И»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2	«Утверждаю» Зав. кафедрой ___ января 2022 г.
	Кафедра <i>Общей физики и ядерного синтеза</i>	
	Дисциплина <i>Топливный цикл термоядерного реактора</i>	
Институт <i>ИТАЭ</i>		
1. Какие меры безопасности предпринимаются при обращении с топливом? 2. Принцип организации топливного цикла ИТЭР/ДЕМО/ТИН. 3. Поток газонапуска в систему нейтральной инжекции 20 м ³ Па/с. Определите поток частиц в пучке с энергией 500 кэВ. Состав пучка D:T=95:5. Мощность дополнительного нагрева 10 МВт.		

1.

Н И У «МЭИ»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3	«Утверждено» Зав. кафедрой ___ января 2022 г.
	Кафедра <i>Общей физики и ядерного синтеза</i>	
	Дисциплина <i>Топливный цикл термоядерного реактора</i>	
	Институт <i>ИТАЭ</i>	
<p>1. Какой продукт производит термоядерный/гибридный реактор?</p> <p>2. Что такое «триггерный цикл»? А «триггерный завод».</p> <p>3. Потери изотопов водорода в теплоноситель контуров охлаждения и первой стенки реактора мощностью 50 МВт составляет $8 \cdot 10^{-8}$ моль/с. Определите отношение масс сгорающего в реакции синтеза топлива и потерь в теплоноситель за год эксплуатации установки.</p>		

2.

Н И У «МЭИ»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4	«Утверждено» Зав. кафедрой ___ января 2022 г.
	Кафедра <i>Общей физики и ядерного синтеза</i>	
	Дисциплина <i>Топливный цикл термоядерного реактора</i>	
	Институт <i>ИТАЭ</i>	
<p>1. Почему термоядерный топливный цикл должен быть замкнутым?</p> <p>2. Реакции деления/синтеза и трансмутации нуклидов в гибридном реакторе.</p> <p>3. Рассчитайте частоту дополнительной стимуляции ELM необходимую для обеспечения $\delta W_{ELM} = 0,5$ МДж. В этом случае доля мощности, поступающей в SOL из основной плазмы $\alpha_{ELM} = 0,2$ а $P_{SOL} = 50$ МВт. Поток частиц, который должен быть обеспечен подпиткой пеллетами составляет $400 \cdot 10^{19} \text{ c}^{-1}$, эффективность проникновения пеллет через сепаратриссу можно оценить как 0,9 для HFS и 0,5 для LFS. Плотность плазмы состава D:T=1:1 составляет $8 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$, ее объем 120 м³. Количество частиц в пеллете не должно превышать 10 % от количества частиц в плазме. Плотность льда из дейтерия и трития 0,16 и 0,24 г/см³ соответственно.</p>		

3.

Н И У «МЭИ»	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5	«Утверждено» Зав. кафедрой ___ января 2022 г.
	Кафедра <i>Общей физики и ядерного синтеза</i>	
	Дисциплина <i>Топливный цикл термоядерного реактора</i>	
	Институт <i>ИТАЭ</i>	
<p>1. Какое количество термоядерного топлива необходимо для запуска реактора?</p> <p>2. Газы, используемые в топливном цикле.</p> <p>3. Плотность основной плазмы объемом 120 м³ составляет $8 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Высота пьедестала составляет 0,7. Определите поток частиц, который должен быть обеспечен инжекцией пеллет при потоке частиц от пучка $20 \cdot 10^{19} \text{ c}^{-1}$, и потоке со стенки $200 \cdot 10^{19} \text{ c}^{-1}$. Можно считать время удержания для всех частиц одинаковым 0,1 с. Мощность реакции синтеза 50 МВт.</p>		

4.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое термоядерный реактор?

Ответы:

1. Ядерный реактор с высокой рабочей температурой активной зоны
2. Реактор с ядерными реакциями синтеза
3. Установка с образованием термоядерных нейтронов

Верный ответ: 2

2. Какой принцип работы термоядерного реактора?

Ответы:

1. Нейтроны летят, нуклиды делятся
2. В горячей плазме легкие ядра сливаются в тяжелые
3. Термоядерные нейтроны формируют цепную реакцию синтеза

Верный ответ: 2

3. Что такое гибридный реактор?

Ответы:

1. 1. Реактор с бланкетом

2. Ядерный реактор с подкритической активной зоной

3. Реактор с источником термоядерных нейтронов и зоной деления/трансмутации

Верный ответ: 3

4. Какие изотопы водорода бывают?

Ответы:

1. 1. дейтерий и тритий

2. водород, дейтерий, тритий

3. протий, дейтерий и тритий

Верный ответ: 3

5. Что такое термоядерная реакция?

Ответы:

1. Реакция с выделением тепла

2. Реакция, происходящая при высоких температурах

3. Реакция с образованием ядра нового элемента

4. Реакция с образованием ядра нового элемента в результате слияния ядер исходных элементов

5. Реакция с образованием ядра элемента в результате реакции синтеза

Верный ответ: 5

6. Какая энергия может быть у термоядерного нейтрона?

Ответы:

1. 14 МэВ

2. 14,07 эВ

3. 1,9/2,45/14,07 МэВ

4. 2,45/14,07 МэВ

Верный ответ: 3

7. Почему термоядерный топливный цикл должен быть замкнутым?

Ответы:

1. Изотопы водорода дорогие

2. Тяжелые изотопы водорода радиоактивные

3. Малое сечение реакции, искусственные изотопы, безопасность эксплуатации

4. Реакция синтеза имеет малое сечение – в результате малое количество исходных частиц топлива сгорает в реакции

Верный ответ: 3

8. Какой продукт производит термоядерный/гибридный реактор?

Ответы:

1. Высокопотенциальное тепло

2. Электроэнергию

3. Нуклиды актинидов

4. Компоненты термоядерного топлива

5. Термоядерные нейтроны

6. Тепло, электроэнергию, нуклиды, термоядерные нейтроны

Верный ответ: 6

9. Для чего нужен дивертор?

Ответы:

1. Поддерживать требуемое давление плазмы

2. Воспринимать потоки энергии и частиц

3. Обеспечивать очистку плазмы от примесей

Верный ответ: 2

10. Каким образом частицы попадают в плазму термоядерного реактора?

Ответы:

1. Газонапуск/инжекция сверхзвуковых газовых струй
2. Инжекция криогенных гранул
3. Инжекция пучков энергичных частиц
4. Инжекция пучков нейтрально заряженных частиц
5. Инжекция нейтральных пучков, пеллет, газонапуск, рециклинг
6. Инжекция нейтральных пучков, пеллет, газонапуск

Верный ответ: 5

11. Что определяет потоки газа в/из вакуумной камеры реактора?

Ответы:

1. Газовыделение из обращенных к плазме компонентов
2. Мощность термоядерной реакции
3. Производительность систем откачки

Верный ответ: 1

12. Какое количество термоядерного топлива необходимо для запуска реактора?

Ответы:

1. Достаточное для заполнения всех магистралей топливного цикла и вакуумной камеры
2. Достаточное для заполнения всех магистралей и систем топливного цикла и вакуумной камеры
3. Достаточное для заполнения вакуумной камеры
4. Необходимое для протекания реакции синтеза

Верный ответ: 2

13. Какие системы должны входить в состав термоядерного топливного цикла?

Ответы:

1. Системы инъекции, откачки, разделения, детритизации и др.
2. Системы газонапуска и откачки
3. Системы газонапуска, откачки и разделения

Верный ответ: 1

14. Каким образом влияют внутрикамерные элементы термоядерного реактора на баланс топлива?

Ответы:

1. Частицы топлива теряются за счет диффузии в теплоноситель
2. Частицы выделяются из конструкционных материалов
3. Происходит обмен частицами между плазмой и стенкой

Верный ответ: 3

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу